

**Lappeenrannan teknillinen yliopisto**  
**LUT School of Engineering Science**  
**Tietotekniikan koulutusohjelma**

**Kandidaatintyö**

**Tero Tarkkala**

**Tukin seuraaminen kuljettimella ohjelmoitavan logiikan avulla**

Työn tarkastaja(t): Ass. Prof. Ari Happonen

Työn ohjaaja(t): Ass. Prof. Ari Happonen

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Engineering Science  
Tietotekniikan koulutusohjelma

Tero Tarkkala

Tukin seuraaminen kuljettimella ohjelmoitavan logiikan avulla

Kandidaatintyö  
2020

26 sivua, 8 kuvaa, 4 kaaviota, 1 taulukko

Työn tarkastaja(t): Ass. Prof. Ari Happonen

Hakusanat: Tukkilajittelu, PLC, ohjelmoitava logiikka, kappaleen seuranta

Tämä kandidaatintyö käsittelee tukkien seuraamista ohjelmoitavan logiikan avulla kuljettimista ja kääntäjistä koostuvalla tukkienlajittelulinjastolla. Työssä esitellään käytännössä havaittuja liikkeen seurannan ja valokennohavaintojen ongelmakohtia ja niihin löydettyjä ratkaisuja.

## ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Engineering Science  
Degree Program in Software Engineering

Tero Tarkkala

Tracking a log on conveyor with programmable logic controller

Bachelor's Thesis  
2020

26 pages, 8 pictures, 4 figures, 1 table

Examiners: Ass. Prof. Ari Happonen

Keywords: Log sorting, PLC, programmable logic controller, object tracking

This Bachelor's thesis examines tracking logs with programmable logic controller on a sorting line consisting of conveyors and log turners. The work describes problems in motion tracking and photocell signals which have been noticed in field tests. Solutions for these problems are also described.

## ALKUSANAT

Kiitokset Finnos Oy:lle mahtavasta tiimistä ja päätä huimaavasta vauhdista asennusten kanssa. Kiitos tuesta ja tiedoista erityisesti Esa Kuvajalle ja Juha Alatalolle.

Tulihan tehtyä, en voi suositella kenellekään. Suosittelen aloittamaan vähän aiemmin kuin 15 vuotta opiskelujen alun jälkeen. Voin luvata että myöhemmin ei ole aikaa näille jutuille.

Lappeenrannassa 28.4.2020 (meni siis kolmannen vuosikymmenen puolelle)

Tero Tarkkala

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>3</b>
1.1	TAUSTA .....	3
1.2	TAVOITTEET JA RAJAUKSET .....	6
1.3	TYÖN RAKENNE .....	6
<b>2</b>	<b>TUKIN SEURANNAN NYKYTILANNE</b> .....	<b>7</b>
2.1	SEURANNAN PERIAATTEET.....	7
2.2	PULSSIANTUREIDEN KÄYTTÖKOHTEIDEN HAASTEET .....	8
2.3	VALOKENNOJEN KÄYTTÖKOHTEIDEN HAASTEET .....	8
2.3.1	<i>Valokennojen asennus ja suuntaus</i> .....	9
2.3.2	<i>Tukkien putoaminen ja kimpoaminen</i> .....	10
2.3.3	<i>Tukkien lenkous ja mutkaisuus</i> .....	10
2.4	ONGELMAT KULJETTIMIEN KATKOKOHDISSA.....	13
2.4.1	<i>Tukin asennon aiheuttamat ongelmat</i> .....	14
2.4.2	<i>Tukin painopisteen ja muodon epävarmuus kuljetinten vaihdoskohdassa</i> .....	14
2.5	YHTEENVETO KENTTÄTOIMINNAN JA SENSOROINNIN HAASTEISTA .....	15
<b>3</b>	<b>RATKAISUEHDOTUKSIA</b> .....	<b>16</b>
3.1	VALOKENNOJEN SIOITTELU .....	16
3.2	VALOKENNOSIGNAALIEN SUODATUS .....	17
3.3	KULJETTIMIEN RAKENNE JA OHJAUS .....	18
3.4	YHTEENVETO RATKAISUEHDOTUSTEN TOTEUTETTAVUUDESTA JA HAASTEISTA ...	19
<b>4</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>20</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>21</b>

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

cm	Senttimetri
ms	Millisekunti
nm	nanometri
kHz	Kilohertsi
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
Oy	Osakeyhtiö

# 1 JOHDANTO

Teollisessa ympäristössä, etenkin päivitettäessä vanhoja järjestelmiä, joudutaan usein korjaamaan vanhoissa linjastoissa olevia mekaanisia ja sensoreihin ja niiden asennukseen liittyviä ongelmia. Ongelmia ratkotaan mahdollisuuksien mukaan korjaamalla mekaniikka ja vaihtamalla sensoreita tai niiden asennustapaa, mutta usein ongelmia joudutaan korjaamaan myös ohjelmistoratkaisuilla. Yksi iso tekijä, joka saa teolliset toimijat päivittämään järjestelmiänsä, on digitalisaatio ja teollisen internetin ratkaisuiden nopea yleistyminen viime aikoina (1) (2). Toisaalta taustalla on jo pitkän aikaa jatkuneet toimitusketjujen synkronoinnin parantamisen tavoitteet (3), mitkä vaativat yhä enenevässä määrin yhä reaaliaikaisempaa dataa toimiakseen luotettavasti. Tässä työssä käsitellään edellä mainittuun teolliseen digitalisaatioon ja tuotteiden yksilötason seurantaan liittyviä haasteita ja mahdollisia ratkaisuja sahatöiden raakapuun vastaanottolajittelussa.

## 1.1 Tausta

Puutavaran luovutusmittaus on Suomessa laissa säädeltyä toimintaa (4), jota valvoo Luonnonvarakeskus (5). Viimeksi mittauksessa käytettäviä muuntolukuja on korjattu vuonna 2016 perustuen Luonnonvarakeskuksen tutkimukseen (5). Finnos Oy valmistaa tukimittausjärjestelmiä puutavaran tehdasmittaukseen ja lajitteluun (Kuva 1). Puutavaran ja puutuotteiden osuus Suomen viennistä oli 5,7 % vuonna 2019 (6). Luku ei sisällä sahojen sivutuotteiden osuutta paperi- ja paperimassaviennistä. Vaikka valtaosa puun



*Kuva 1 Finnos Fusion mittauskontti kuljettimelle asennettuna*

luovutusmittauksesta tapahtuukin hakkuukone- ja kuormainvaakamittauksella (7), kulkee vuonna 2019 yli 50 % suomalaisesta sahatavarasta Finnos Oy:n tukinmittausjärjestelmien läpi (7) (8). Tukit voidaan tällöin vastaanottomitata tai mittausta käytetään antamaan palautetta muille vastaanottomittausmenetelmille. Samalla tukit myös lajitellaan mittojen ja sisälaadun perusteella materiaalin hyötykäytön maksimoimiseksi.

Finnos Oy:n mittausjärjestelmässä tukkia mitatessa yhdistetään tietoja useista sensoreista, mm. operaattorin tekemät silmämääräiset havainnot, metallinilmaisin, lasermittaus, röntgenmittaus, värikameramittaus. Kun sensorit ovat eri kohdissa kuljetinlinjastoa, on tärkeää, että jokaista tukkiyksilöä pystytään seuraamaan koko sen kuljettimella kulkema matka. Tällöin kaikkien sensorien tukista saamat tulokset saadaan kohdistettua oikealle yksilölle ja mittaustulos lasketaan yhdistelemällä sensorien dataa.

Mittausjärjestelmän antamien tuloksien ja sahan määrittämien lajittelusääntöjen perusteella tukit ohjataan kuljettimelta lajittelulokeroihin hydraulisilla tai sähköisillä potkaisijoilla. Potkaisun onnistumiseksi tukin sijainti kuljettimella pitää tietää tarkasti. Kun sijainti on tarkasti tiedossa ja tukin painopiste on saatu mittausjärjestelmästä, voidaan potkuhetki laskea niin, että tukit putoavat lokeroon suoraan pinoon. Pinon siisteys nopeuttaa jatkokäsittelyä huomattavasti, kun tukinkäsittelykoneen kuljettajan ei tarvitse järjestellä pinoa koneella. Kuva 2 näyttää tilanteen, jossa yksi tukeista on potkaistu liian myöhään ja sen toinen pää on pudonnut lokeron tolppien ulkopuolelle.



*Kuva 2 Tukinlajittelulinjan lokeroita. Kuvassa yksi tukeista potkaistu liian myöhään.*



Edellä mainitut syyt vaativat tukin sijainnin tietämistä jokaisella hetkellä mielellään senttimetrin, jopa millimetrien tarkkuudella. Tällä hetkellä Finnos Oy:n järjestelmissä tukkia seurataan enimmäkseen valokennojen ja pulssianturien avulla. Kuva 3 on esimerkki Finnos Oy:n käyttämästä pulssiantureista. Kuvassa näkyvä holkki kiinnitetään kuljettimen akselin päähän hitsattuun tappiin. Akselin pyörittäessä holkkia pulssianturi antaa kahdella digitaalisella signaalilla ulos tiedon siitä kumpaan suuntaan ja kuinka monen pulssin verran akseli on pyörähtänyt. Akselin yhden kierroksen pulssimäärä on kuvan anturimallissa ohjelmallisesti muutettavissa välillä 1 – 10000 pulssia / kierros (9).



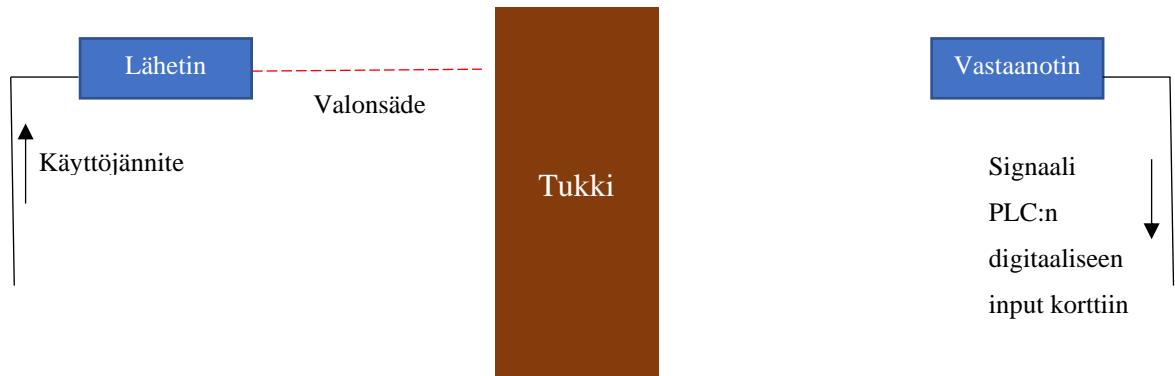
*Kuva 3 Pulsianturi*

Kuva 4 esittää Finnos Oy:n järjestelmissä käytettävän valokennoparin vastaanotinta. Kuvassa laitteen yläpäässä on linssi joka ohjaa valoa laitteen sisällä olevaan optoelektroniseen elementtiin. Vastaanotin antaa ulos digitaalista signaalia, joka kertoo tuleeko vastaanottimeen valoa vai ei. Valoa lähettävä laite on ulkoisesti saman näköinen, mutta sen linssin takana on valonlähde. Useimmissa kohdissa Finnos Oy:n järjestelmissä riittää perinteistä valonlähdettä käyttävä lähetin, mutta tarkkaa pituusmittausta varten vähintään yksi mittauskuljettimella olevista kennopareista on varustettu laserlähettimellä ja vastaanottimella. Käytetty laservastaanotin reagoi vain 655 nm aallonpituuden valoon ja on näin vähemmän herkkä ympäristön muulle valolle (10). Lähetin ja vastaanotin asennetaan



*Kuva 4 Valokennovastaanotin*

eri puolille kuljetinta, jolloin voidaan signaalista havainnoida, onko lähettimen ja vastaanottimen välissä kappale. Kuva 5 näyttää valokennonparin toiminnan tukin katkaistessa valonsäteen.



*Kuva 5 Havainnekuva valokennonparin toiminnasta*

## 1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tässä kandidaatintyössä esitellään Finnos Oy:n järjestelmissä huomatu ongelmakohdat tukin seuraamisessa käytetyillä menetelmillä ja yritetään kirjallisuuskatsauksella löytää uusia menetelmiä tukin seuraamiseen kuljettimella. Ongelmakohtia on kirjattu Finnos Oy:n tikettienhallintajärjestelmään erikseen mittaajajärjestelmien asennuksen yhteydessä tehdyissä testeissä ja lisäksi asiakkailta saadun palautteen perusteella. Lisäksi sensoridataa on otettu talteen normaaleissa tuotantotilanteissa. Työssä ei lähdetä kokeilemaan menetelmiä käytännössä, vaan mahdolliset kokeet jätetään työn jatkoksi suunniteltuun diplomityöhön.

## 1.3 Työn rakenne

Tässä luvussa on esitelty työn taustat, käyttökohteet ja käytetyt tekniikat. Luvussa 2 esitellään nykyisen seurannan periaatteet ja siinä havaitut ongelmakohdat. Luvussa 3 esitellään Finnos Oy:n testeissä löytyneitä ratkaisuja ongelmiin ja löydettyjä uusia menetelmiä tukin seuraamiseen. Luvussa 4 on johtopäätökset ja ehdotuksia tulevista kehityskohteista

## 2 TUKIN SEURANNAN NYKYTILANNE

### 2.1 Seurannan periaatteet

Finnos Oy:n järjestelmissä tukkia seurataan PLC:hen (Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka) liitettyjen valokennojen ja pulssiantureiden avulla. Logiikassa ajettava ohjelma tarkistaa valokennojen tilat ja pulssianturien laskurit yhden millisekunnin syklillä. Valokennot muodostuvat kuljettimen eri puolille sijoitetuista lähetin/vastaanotin -pareista. Tarkempaa sijaintia tai kappaleen pituutta haettaessa lähetin on laser ja vastaanotin reagoi vain kyseiseen valon aallonpituuteen. Halvempi perusratkaisu on tavanomaisella valonlähteellä varustettu lähetin. Finnoksen järjestelmissä tilanne, jossa lähettimen valo pääsee vastaanottimeen, käsitellään bittinä 0 / false ja kappaleen katkaistessa valonsäteen bittinä 1 / true.

Pulssianturi antaa anturin tyyppin mukaisen kiinteän tai ohjelmoitavan määrän digitaalisia pulsseja akselinsa kierrosta kohti. Pulssien laskemiseen käytetään tarkoitukseen suunniteltua ohjelmoitavan logiikan lisäkorttia, joka pitää huolen yksittäisten pulssien laskemisesta ja logiikan ohjelmassa voidaan lukea kortilta suoraan 32-bittisen laskurin arvo. Käytetty Beckhoff EL5151 -kortti pystyy erottamaan pulssit jopa 100 kHz:n taajuudella (11). Finnoksen järjestelmissä käytetään useimmilla kuljettimilla 300 pulssia / kierros, joka antaa kääntöpään pyörän koon mukaan noin 3-10 millimetrin resoluution kuljettimen asennon seuraamiseen. Varsinaisella mittauskuljettimella käytetään suurempaa pulssimäärä ja lisäksi pelkkien pulssien laskemisen sijaan lasketaan nousevia ja laskevia reunoja, jolloin resoluutio kaksinkertaistuu. Kun tiedetään taittopään kehän pituus, saadaan pulssia vastaava kuljettimen kulkema matka jakamalla kehän pituus pulssien määrällä / kierros. Saatua arvoa kutsutaan jatkossa pulssikertoimeksi.

Edellä esiteltyjen kahden sensorityypin avulla pystytään siis havaitsemaan tukin sijainti tietyllä hetkellä ja sen jälkeen oletetaan sen liikkuvan samalla nopeudella kuljettimen kanssa. Kun linja liikkuu eteenpäin ja valokennossa havaitaan nouseva reuna, tiedetään että tukin etupää on tässä tunnetussa valokennosijainnissa. Vastaavasti laskevalla reunalla löydetään tukin peräpään sijainti tietyllä hetkellä. Ottamalla talteen pulssianturin arvo nousevalla reunalla ja vähentämällä se pulssianturin arvosta laskevan reunan hetkellä saadaan tukin

pituutta kuvaava pulssien määrä. Kun saatu arvo kerrotaan pulssikertoimella, saadaan tukin pituus. Tukin sijainti kullakin hetkellä saadaan lisäämällä edelliseen tunnettuun reunaan pulssianturista pulssikertoimella saatava kuljettu matka.

## **2.2 Pulssiantureiden käyttökohteiden haasteet**

Pulssianturit itsessään ovat olleet melko toimintavarmoja. Niiden asennuksessa pitää kuitenkin olla tarkkana, anturi pitää saada asennettua tarkasti suoraan suhteessa taittopään akseliin. Vinoon asennetun anturin mittaama näennäinen kulmanopeus muuttuu kierroksen aikana, vaikka todellinen pyörintänopeus olisi vakio. Vinoon asennettu anturi aiheuttaa mittausvirhettä kappaleessa 2.1 kuvattuun tukin pituuden mittaamiseen.

Suurempi ongelma on kuitenkin mittauskuljettimella, missä saatujen pulssien perusteella käsketään mm. röntgendetektoreita ottamaan kuva. Detektorien valotusaika pyritään pitämään mahdollisimman pitkänä, kuitenkin niin että valotusaika pysyy alle pulssivälin. Näin jokaisella pulssilla saadaan yksi kuva ja röntgendetektorien tuottama data pysyy samassa tahdissa muiden mittausantureiden tuottaman datan kanssa. Jos pulssianturi on asennettu vinoon ja pulssien väli muuttuu kierroksen aikana, voidaan röntgendataa menettää, koska detektori hylkää menossa olevan valotuksen, kun se saa uuden käskyn kuvata. Datan menetys itsessään on satunnaisesti tapahtuessaan kompensoitavissa oleva ongelma. Suurempi ongelma on, jos käytetty detektori ei anna datan mukana pulssilaskuria, jolloin menetetty kuva aiheuttaa pysyvän epätahdistuksen detektorin ja muiden mittalaitteiden välille.

## **2.3 Valokennojen käyttökohteiden haasteet**

Valokennot aiheuttava monenlaisia haasteita tukinseurannassa. Kennoja asennetaan Finnos Oy:n järjestelmissä yleensä kaksi paria päällekkäin, mutta silti tukkien luonnollisista muodoista ja kuljetinten geometriasta johtuen kennopareista toinen tai molemmat voivat nähdä tukin ohitse, vaikka tukki todellisuudessa vielä olisikin kennoparin kohdalla. Tässä luvussa käydään läpi ongelmia, joita testeissä on havaittu.

### 2.3.1 Valokennojen asennus ja suuntaus

Valokennoparien, etenkin laserkennoja käytettäessä, suuntaus on melko tarkkaa. Jos kennot esimerkiksi värinän seurauksena siirtyvät pois suuntauksestaan, näyttää niistä saatava tieto siltä, kuin kennon edessä olisi koko ajan esine. Tukkikuljettimet värisevät suurien voimien takia käytännössä aina, mutta erityisesti tukin kääntäjän läheisyydessä esiintyy voimakkaita tärähdyksiä. Tärinöiden vaikutuksia pyritään estämään tekemään valokennoille kuljetinrakenteista erilliset telineet ja asentamalla kenno pari aina samaan telineeseen. Telineen runko kiertää esimerkiksi kuljetinrakenteiden ali ja kenno parin lähetin ja vastaanotin värisevät näin samalla tavalla. Esimerkki kääntäjästä Kuva 6. Tukit tulevat kääntäjään ylempää kuljetinta, kuvassa oikealta. Kääntäjän keskellä oleva kehikko kääntyy 90 astetta myötä- tai vastapäivään niin, että tukin tyvi on kuljettimella haluttuun suuntaan. Alempi kuljetin kulkee siis suorassa kulmassa ylempään verrattuna ja sitä alempana, jolloin tukki kääntämisen jälkeen putoaa alemmalle kuljettimelle ja jatkaa matkaansa.



*Kuva 6 Kääntäjä.*

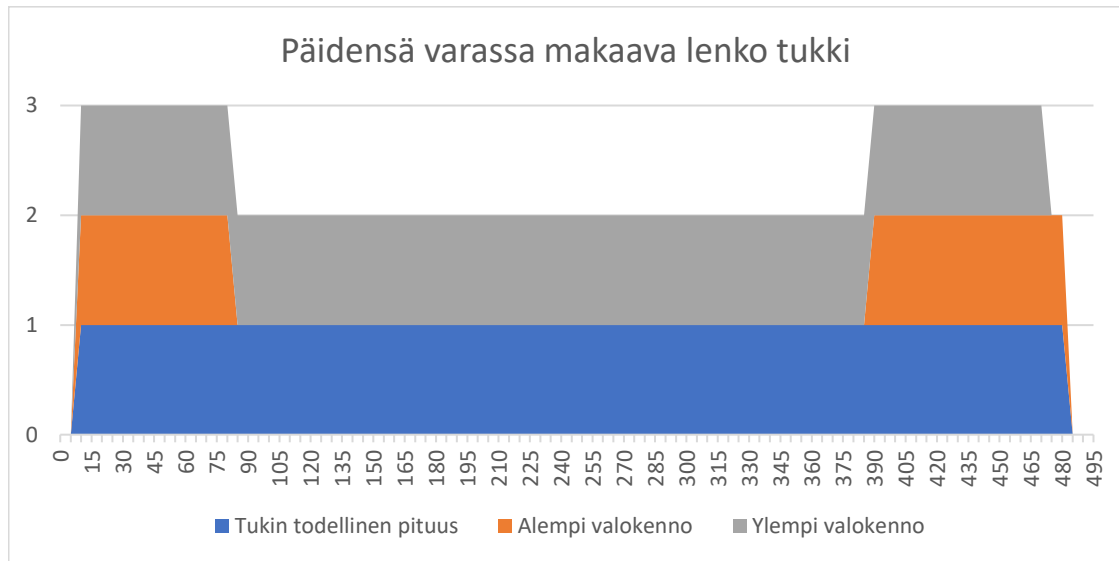
### **2.3.2 Tukkien putoaminen ja kimpoaminen**

Tukin pudotessa esim. kääntäjässä tai annostelun yhteydessä se saattaa kimmota takaisin ylöspäin niin paljon, että se käy uudestaan alhaalla odottavien valokennojen yläpuolella. Tällöin vähintäänkin tukin pituus mitataan kyseessä olevalla kennolla väärin tai etu- tai peräpäähän sijainti mitataan väärin. Pahimmassa tapauksessa tukkia luullaan kahdeksi eri tukiksi. Tämä on kuitenkin melko harvinaista, noin 1 tapaus 30 000 käännetystä tukista, koska se vaatii normaaleilla Finnos Oy:n suodatuksilla ja normaaleilla linjanopeuksilla, että tukki on kennon edessä 250 – 300 ms ja sen jälkeen vielä nousee molempien kennojen yläpuolelle. Tukin käyminen kennojen kohdalla ja kimpoaminen takaisin ylös on erityisen paha ongelma annostelussa, jossa tukkien tietoihin pyritään liittämään operaattorin silmämääräisesti niille antamaa laatua tai laatuvirheitä. Jos tukkia luullaan kahdeksi eri tukiksi, se saattaa saada väärän tukin laatu tiedot ja voi myös aiheuttaa yhden tukin siirtymän laadutuspuskuriin. Laadutuspuskurilla tarkoitetaan ohjelmallista jonoa, johon operaattorin laadutuksia kerätään ja jotka otetaan sieltä järjestyksessä linjalle lähteville tukeille.

### **2.3.3 Tukkien lenkous ja mutkaisuus**

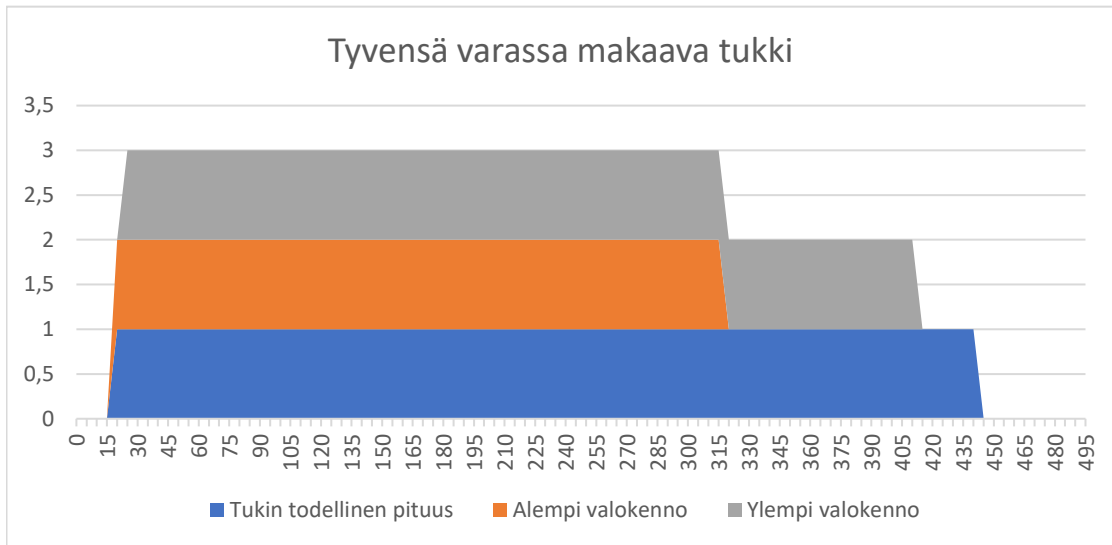
Lenkoudella tarkoitetaan puun rungon tasaista käyryyttä (12). Tukissa käyryys on siis vain yhteen suuntaan ja koko tukin matkalla. Tällainen tukki saadaan moderneilla sahalaitteilla sahattua hyvin käyttökelpoiseksi puutavaraksi. Mutkainen tukki on käyrä useampaan suuntaan ja tukin matkalla on siis useampia mutkia. Finnos Oy:n nykyisen tukin seurannan kannalta molempien tyyppiset käyryydet aiheuttavat samankaltaisia ongelmia. Seuraavissa kaavioissa esitetään Finnos Oy:n järjestelmissä käytettävän kahden päällekkäin 15 senttimetrin välein asennetun valokennon havaintoja tällaisista tukeista. Valokennoparia käytetään tukin seurannassa yhdistettynä loogisella OR -operaattorilla. Tukin havaitsemiseksi siis riittää, kun toinen valokennoista havaitsee tukin. Kaavioissa esitetään valokennojen havaintojen lisäksi kolmantena datasarjana myös käsin mitattu tukin todellinen pituus. Havainnot on kerätty useista Finnos Oy:n asetuksista niiden asennuspaikkakohtaisia ongelmia tutkiessa. Ongelmien määrä ja vaikeusaste vaihtelevat riippuen valokennoparien tarkasta keskinäisestä geometriasta ja muista tukin liikkumiseen vaikuttavista tekijöistä, kuten mahdollisista rullista kuljettimien välissä ja kolien geometriasta. Seuraavana esiteltävät ongelmat johtuvat kuitenkin enimmäkseen tukkien edellä esitetyistä ominaisuuksista.

Kaavio 1 esittää valokennohavainnot päidensä varassa makaavasta lengosta tukista. Kaaviosta voidaan havaita, että tukki on koko matkaltaan oikein havaittu. Tässä asennossa lenkous ei siis aiheuta ongelmia seurannassa, koska käytetyssä ohjelmassa tukin havaitsemiseen riittää kahdesta valokennosta toisen havainto. Kaavion lopussa voidaan myös havaita tukin latvan kapeneminen niin paljon, että se ei näy enää viimeisen 10 senttimetrin matkalla ylemmässä valokennossa.



Kaavio 1 Päidensä varassa makaava lenko tukki

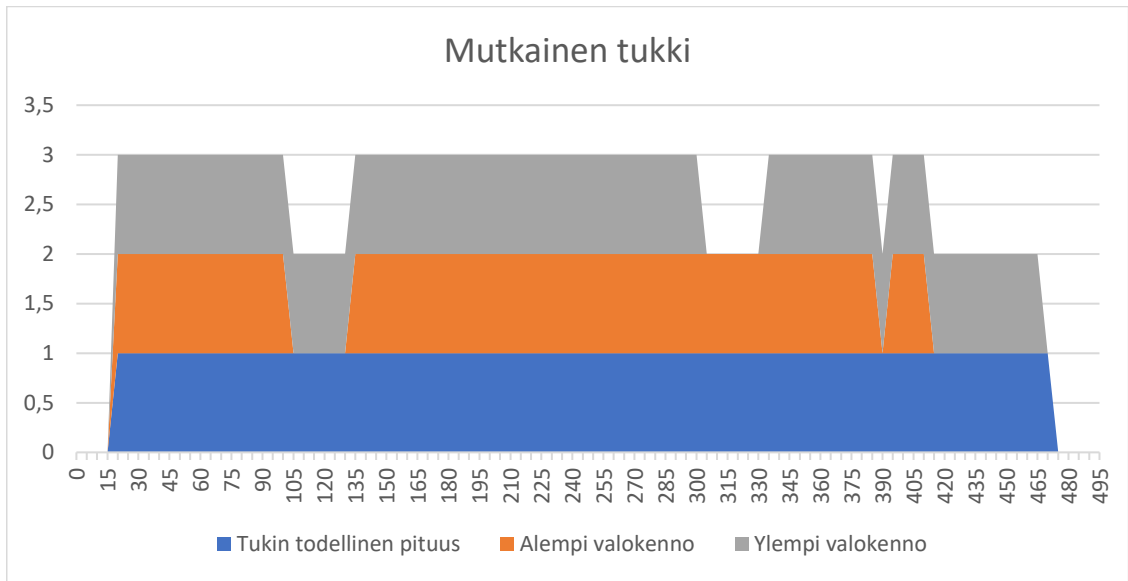
Kaavio 2 näyttää esimerkin ongelmatilanteesta lengon tukin kanssa. Tukin tyvi on niin paljon latvaa painavampi, että tukki on jäänyt makaamaan pelkän tyven varaan ja lenkouden suunta on ylöspäin. Kaaviosta nähdään, kuinka tukki häviää ensin alemman kennon edestä kohdassa 320 senttimetriä. Tämä siis ei vielä aiheuta ongelmaa, mutta ongelma syntyy, kun tukki nousee ylemmän valokennon yläpuolelle kohdassa 415 senttimetriä. Tukin todellisen pituuden ollessa 445 cm se mitataan siis 30 cm liian lyhyeksi. Pelkästään lyhyeksi mittaaminen aiheuttaa 15 cm virheen potkukohdan laskentaan. Virhe lisääntyy vielä 30 senttimetrillä, jos kyseessä olevalla kennoparilla päivitetään tukin sijainti seurannassa tukin peräpäähän ohittaessa kennoparin.



Kaavio 2 Tyvensä varassa makaava tukki

Mutkaiset tukit aiheuttavat huomattavasti enemmän erilaisia ilmiöitä valokennohavaintoihin. Kaavio 3 näyttää esimerkin mutkaisesta tukin valokennotiedoista. Kaaviosta näkyy mm. kohdassa 100 – 135 senttimetriä puun mutka, jonka takia puun alapinta on noussut alemman valokennon yläpuolelle. Kohdassa 300 senttimetriä puun latva on kaventunut niin paljon, että puun yläpinta jää ylempään valokennon alapuolelle. Sen jälkeen mutka kuitenkin aiheuttaa yläpinnan nousemisen takaisin ylempään valokennon eteen kohdassa 340 senttimetriä. Mutkan suunnan jatkuessa edelleen yläviistoon, nousee puun alapinta alemman valokennon yläpuolelle kohdassa 405 senttimetriä. Tukki on kuitenkin koko matkaltaan nähty jommassakummassa kennossa, joten tämän yksilön kohdalla varsinaisia virheitä ei sattunut. On kuitenkin helppo nähdä, kuin kumman tahansa valokennon tiedon puuttuminen aiheuttaisi suuria ongelmia seurantaan. Ylempään valokennon tiedon puuttuessa puu nähtäisiin kahdessa osassa, alemman valokennon puuttuessa kolmessa osassa. Puuttuvista tiedoista ja käytetyistä suodatusmatkoista riippuen seurannassa tunnistettaisiin siis jopa 3 eri tukkia. Käytännössä Kaavio 3:n mukaista tukkia ei voisi edes suodattamalla tunnistaa oikein vain toisen valokennon tiedoista. Aukot kennojen tiedoissa ovat niin pitkiä, että näin pitkät aukot on pakko tunnistaa tukkiväleiksi. Finnos Oy:n asennuspaikoilla tukkivälin tavoite on pisimmilläänkin n. 50 senttimetrin luokkaa ja 30 senttimetrin tukkiväli ei ole poikkeuksellinen.





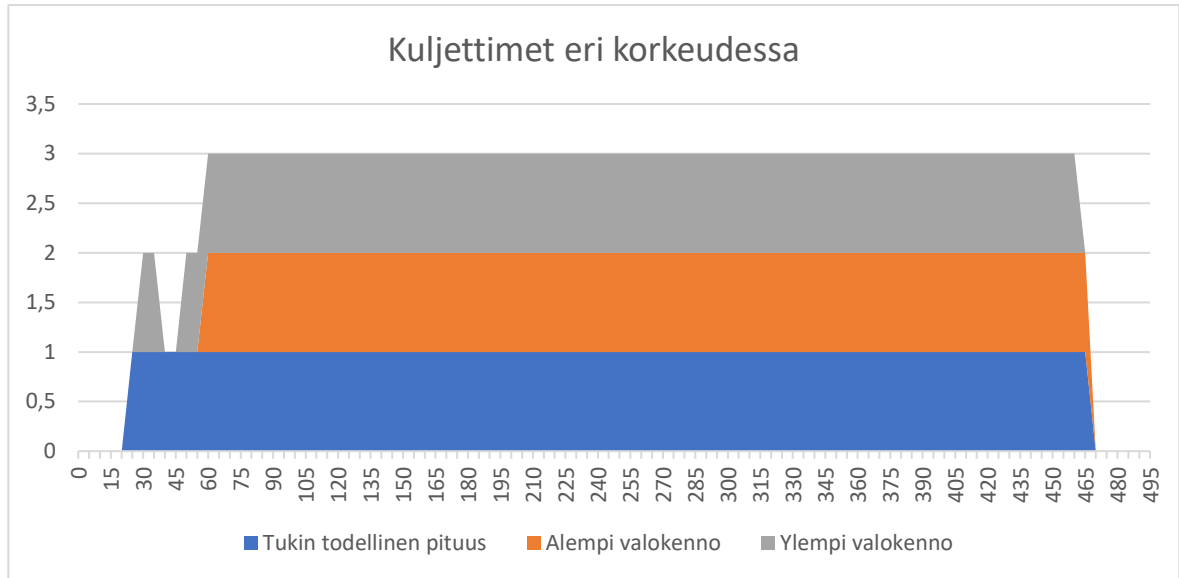
Kaavio 3 Mutkainen tukki

## 2.4 Ongelmat kuljettimien katkokohdissa

Useimmat tukkilajittelut koostuvat vähintään kahdesta, usein neljästäkin kuljettimesta: Annostelukuljetin, metallintunnistinkuljetin, mittauskuljetin ja lajittelukuljetin (8). Annostelukuljettimen ja sen kolien tarkoitus on pysäyttää tukin sivuttaissuuntainen liike annostelun jälkeen (13). Metallintunnistinkuljetin voi sijaita ennen tai jälkeen mittauskuljettimen. Metallintunnistinkuljetin on ainoa kumimatolla toteutettu kuljetin, koska se kulkee metallintunnistimen läpi. Normaalista ketjukuljetinta ei voi käyttää, kun metallinpaljastimella halutaan löytää tukeissa olevia metallinkappaleita. Mittauskuljetin on aina mahdollisuuksien mukaan erillinen ja riittävän pitkä, jotta tukki on koko mittausprosessin ajan paikoillaan suhteessa kuljetinketjuun. Näin eri sensorien tuottama data pystytään parhaiten yhdistämään (14). Lajittelukuljetin on kuljettimista pisin ja sen vierellä on lajittelulokerot, joihin tukit potkitaan hydraulisilla potkaisijoilla lajittelutulosten mukaan. Kaikilla eri kuljettimilla on siis oikea tarve olla linjalla, mutta kuljetinten vaihdoskohdat aiheuttavat seuraavaksi esiteltäviä ongelmia tukin seurannassa.

### 2.4.1 Tukin asennon aiheuttamat ongelmat

Oikein asennetulla linjastolla kaikki kuljettimet ovat samassa tasossa, jolloin tuki siirtyy kuljettimelta toiselle tasaisesti ja ilman asennonmuutoksia. Jos kuljettimet ovat eri tasossa, voi pahimmillaan esiintyä Kaavio 4 kaltaisia ongelmia. Kaavion esittämässä tilanteessa



Kaavio 4 Kuljettimet eri korkeudessa

tukki on tullut kennolle niin, että sen etupää on ollut jopa ylemmän valokennon yläpuolella ja se on ensimmäisen kerran havaittu 5 senttimetriä liian myöhään. Tämän jälkeen korkeammalla olevan kuljettimen taittopäästä on vielä noussut uusi kola, joka on uudestaan nostanut tukin valokennon yläpuolelle. Tukin etupää on kunnolla havaittu noin 30 senttimetriä liian myöhään.

### 2.4.2 Tukin painopisteen ja muodon epävarmuus kuljetinten vaihdoskohdassa

Kun tukin sijaintia seurataan kohdassa 2.1 esitetyin periaattein, tukin pysähtyminen kuljetinten vaihdoskohtiin voi olla ongelmallista. Useimmilla vanhoilla linjoilla kuljettimet eivät käynnisty täysin samaan aikaan ja samalla kiihtyvyydellä. Jos tukin kitka on suurempi vielä paikoillaan olevalla kuljettimella, mutta seurannan mukaan tukki on jo liikkuvalla kuljettimella, tukin sijaintia seurannassa kasvatetaan, vaikka se todellisuudessa on vielä paikoillaan. Vastaavasti jos tukki lähteekin liikkeelle, vaikka seurannan mukaan se on vielä paikoillaan olevalla kuljettimella, seurannan sijainti jää jälkeen todellisesta sijainnista. Normaalista käynnistymisten epätasaisuuksista johtuvista virheistä selvittää yleensä käyttämällä valokennohavaintojen yhteydessä virhemarginaaleja. Pahimmassa tapauksessa

toista kuljetinta pidetään tarkoituksella paikoillaan pidempiä aikoja toisen pyöriessä, jolloin tukin sijainnin virhe kasvaa niin kauan kuin toinen kuljetin on paikoillaan. Valokennohavainnon yhteydessä tukin sijaintia ei voi korjata liikaa, koska tällöin luodaan helposti tilanne, jossa seurannan tukit ovat pysyvästi yhden tukin verran väärässä. Tällöin siis seurannan tukin tiedot ovatkin todellisuudessa esimerkiksi aina edellä menevän tukin tiedot.

## 2.5 Yhteenveto kenttätoiminnan ja sensoroinnin haasteista

Tähän kappaleeseen on koottu yhteenveto havaituista ongelmista. Edellä tässä luvussa esitetyt ongelmat ja niihin liittyvät komponentit on koottu taulukkoon 1. Luvussa 3 esitetään jatkotesteissä löytyneitä ratkaisuja sekä vielä testaamattomia ratkaisuehdotuksia.

Ongelma-alue	Ongelma	Komponentit
Annostelu	Kimpoavat tukit	Valokennot Annostelun mekaniikka Annostelun geometria
Kääntäjä	Kimpoavat tukit	Valokennot Kääntäjän geometria
Kuljettimen vaihdoskohdat	Kuljettimien käynnistyminen	Kuljettimien geometria Kuljettimien ohjaus
Kuljettimien vaihdoskohdat	Tukin pysty- ja sivuttaissuuntainen liike kuljettimen vaihdoskohdassa	Kuljettimien geometria Valokennot
Seurantavalokennot	Tukin muodon aiheuttamat ongelmat	Valokennot

*Taulukko 1 Yhteenveto kenttätoiminnan ja sensoroinnin haasteista*

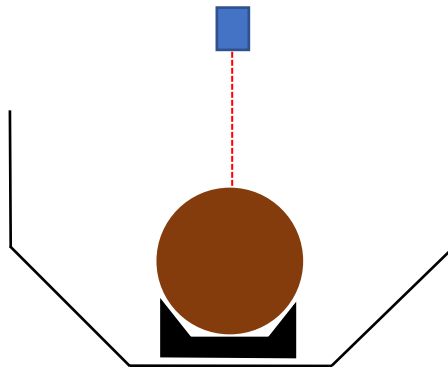
### 3 RATKAISUEHDOTUKSIA

Suurin osa edellä esitetyistä ongelmista on vaikeita tai erittäin vaikeita korjata pelkästään ohjelmistoon tulevilla muutoksilla. Tässä luvussa esitetään siis ohjelmistoparannuksien lisäksi paljon sensoroinnin parantamiseen liittyviä ehdotuksia sekä Finnos Oy:n testeistä että kirjallisuudesta.

#### 3.1 Valokennojen sijoittelu

Kaikissa edellä esitetyissä valokennokaavioissa on esitetty kahden eri valokennon signaali. Tämä ratkaisu on ollut jo 80-luvulta lähtien käytössä laajalti tukkikuljettimissa (13). Tässä asettelussa kaksi valokennoa on aseteltu niin, että alempi on juuri kolan yläpinnan yläpuolella ja ylempi 10-15 cm sen yläpuolella. Tällä asettelulla pyritään havaitsemaan aivan kaikkein pienimmätkin tukit ja toisaalta ylemmällä kennolla estetään tilanne, jossa pelkkää alempaa kennoa käyttäen nähtäisiin tukin alitse. Asettelu toimii valtaosin hyvin, kuten kohdassa 2.3.3 on esitetty. Asettelu ei kuitenkaan aina toimi, kuten samassa luvussa edelleen on mainittu.

Yksi Finnos Oy:n testeissä esitetty ratkaisu on ollut laseretäisyysanturilla toteutettu tukin havaitseminen sen yläpuolelta (Kuva 7). Tässä ratkaisussa etäisyysanturi asennetaan keskelle linjaa sen yläpuolelle. Anturi kalibroidaan niin, että se antaa vapaata valokennoa vastaavan signaalin, kun sen mittaama etäisyys on kolan yläpinnan korkeudella tai sen alapuolella. Kun tukki on lasersäteen kohdalla ja näin ollen mitattu etäisyys on annettua rajaa lähempänä etäisyysmittaria, annetaan peitettyä valokennoa vastaava signaali. Tällä



*Kuva 7 Havainnekuva etäisyysanturilla toteutetusta tukin havainnoinnista*

asettelulla riittää, kun jokin tukin osa on aina kuljettimen keskilinjalla. Lenkoutensa suunnassa kyljellään makaavan tukin tapauksessa tukin toinen pää voi olla kokonaan keskilinjän ulkopuolella. Jos etäisyysmittariin yhdistetään vielä yksi tai kaksi edellä kuvatun asettelun mukaista vaakasuunnassa olevaa tavallista valokennoa, saavutetaan jo erittäin hyvä varmuus kaiken muotoisten tukkien havaitsemisessa. Usein tämän asettelun esteenä on kustannuskysymykset.

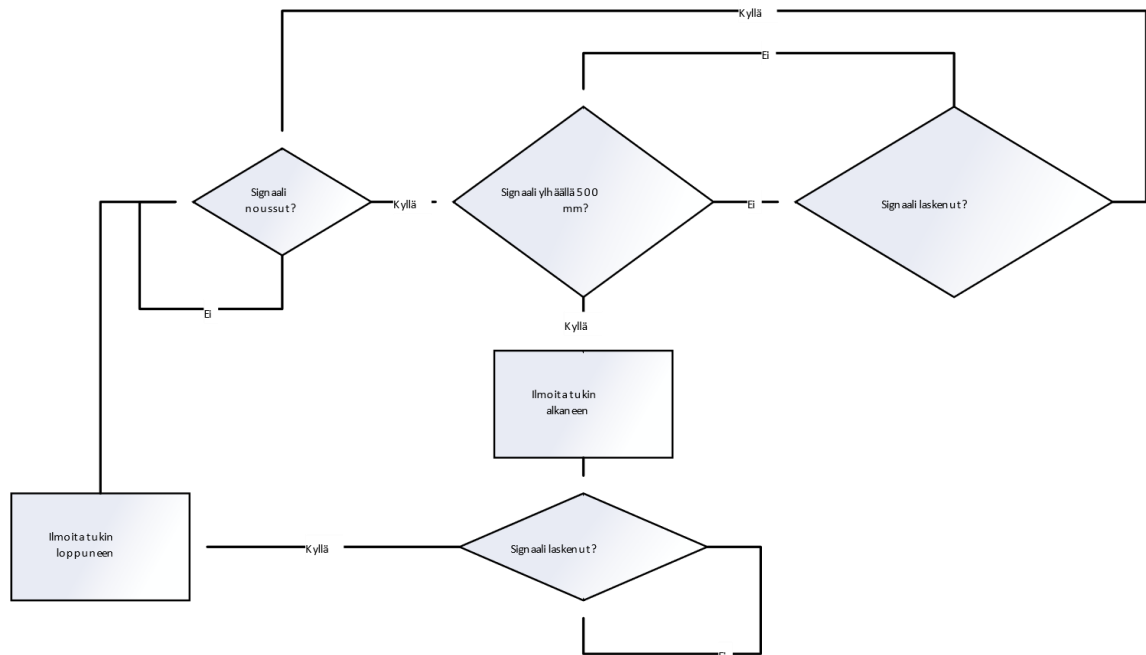
Luo ja Liao esittävät menetelmän kappaleen seurantaan videokuvasta robottikäden ohjaukseen (15). Vastaava menetelmä voisi toimia myös tukkikuljettimilla korvaamaan valokennoja. Tällöin yksittäisiin sijainteihin sidottujen valokennohavaintojen sijaan tukin sijaintia voitaisiin päivittää jatkuvasti. Tämä auttaisi erityisesti kohdassa 2.4.2 esitetyn ongelman kuljettimen vaihdoskohdissa kuljettimia pysäyttäessä ja käynnistäessä tapahtuviin ongelmiin tukin sijainnin päivittämisessä. Tukin painopisteellä tai ketjujen ja kolien erilaisilla kitkoilla ei olisi edes merkitystä, kun tukin oikeaa sijaintia voitaisiin seurata reaaliajassa videokuvasta. Tukkikuljettimet ovat valtaosan matkastaan päältä avoimia ja peitetyissä kohdissa, kuten Finnos Oy:n röntgentukkimitarin kohdalla, voitaisiin käyttää pulssianturin tietoihin perustuvaa sijainnin päivitystä.

### **3.2 Valokennosignaalien suodatus**

Finnos Oy:n testeissä tehtyjen havaintojen mukaan valokennosignaalien nousevaa reunaa suodatetaan niin, että tukki hyväksytään alkaneeksi vasta, kun signaali on ollut ylhäällä niin pitkään, että pulssianturilukemien perusteella tukki on kulkenut kennon edessä 500 millimetriä. Tällä suodatetaan pois erilaisten kuljettimen mukana kulkevien ylimääräisten esineiden aiheuttamat väärät tukkihavainnot.

Laskevaa reunaa ei Finnos Oy:n järjestelmissä suodateta lainkaan. Peräkkäin kulkevat tukit kulkevat niin lähellä toisiaan, että laskevaa reunaa suodattaessa helposti yhdistetään kaksi

tukkia, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että molempien tukkien todellinen sijainti, ja sitä kautta mittaustulokset, menetetään. Kuva 8 esittää valokennosuodatuksen vuokaavio.



Kuva 8 Valokennosuodatuksen vuokaavio

### 3.3 Kuljettimien rakenne ja ohjaus

Kohdassa 2.4 esitettyihin tukin muodon ja painopisteen aiheuttamiin ongelmiin kuljettimien vaihdoskohdissa on Finnos Oy:n testeissä tehtyjen havaintojen perusteella selvät mekaaniset ja kuljettimien ohjaukseen liittyvät ratkaisut. Vaihdoskohdissa tapahtuvaan tukin asennon muutokseen liittyen kuljettimet pitää aina asentaa samaan tasoon. Tarkallaan ottaen samassa tasossa pitää olla nimenomana kolat, joiden varassa tukit makaavat. Varsinainen kuljetinketjuhan saattaa tällöin olla eri tasossa toisen kuljettimen kanssa, jos kuljettimissa on toisistaan poikkeavat kolat.

Kuljettimien katkoskohdissa tapahtuvaan tukin liikkumisnopeuden epävarmuuteen auttaa se, että kuljettimia käynnistetään ja pysäytetään aina samassa tahdissa. Aina tämä ei ole mahdollista, sillä varsinkin pitkän lajittelukuljettimen pysäyttäminen ei ole mekaanisen kestävyuden kannalta mielekästä esimerkiksi annostelukuljettimella tapahtuvan ongelman takia.

Kohdassa 2.3.2 esitettyyn kimpoamisongelmaan päädyttiin testissä suositteluun pääasiassa mekaanisia korjauksia. Tukin liikehdintä tulisi rajoittaa mahdollisimman paljon suunnitteleamalla annostelu niin, että tukki putoaa mahdollisimman vähän annosteluliikkeen seurauksena. Mikäli kyseessä on olemassa oleva annostelumekaniikka, jonka geometria muuttaminen on vaikeaa tai mahdotonta, tukin kimpoamista voidaan rajoittaa annostelua vastapäätä olevaan kuljettimen laitaan asennettavilla hammastetuilla prismarautoilla, jotka hidastavat ylöspäin liikkuvaa tukkia.

### **3.4 Yhteenveto ratkaisuehdotusten toteutettavuudesta ja haasteista**

Kaikki edellä esitetyistä ohjelmistoratkaisuista on jo toteutettu Finnos Oy:n tukinseurannasta vastaavaan logiikkaohjelmaan. Jatkokehityksenä logiikkaohjelma on päätetty kirjoittaa käytännössä kokonaan uudestaan. Tavoitteina on parantaa ohjelmiston antamaa diagnostiikkatietoa ja ennen kaikkea tehdä ohjelmistosta modulaarisempi. Nykyisen ohjelman monet osa-alueet on kirjoitettu liian suuriksi kokonaisuuksiksi, joita nyt pyritään osittamaan.

Monet esitetyistä ratkaisuista ovat mekaanisia tai linjaston hydraulikkaan tai sähkökäyttöisiin koneistoihin liittyviä. Monilla asiakkailla on kuitenkin melko epärealistinen ”pitäähän ohjelman toimia” -asenne, josta seuraa se, että yksinkertaisiakaan mekaanisia ratkaisuja ei toteuteta. Moynihan (16) suosittelee tällaisten asenneongelmien ratkaisuksi esimerkiksi proaktiivista koulutusta ja tarkempaa ohjelmiston toiminnallista määrittelyä.

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä käytiin läpi käytännössä asennuksissa ja tuotantokäytössä saateollisuuden tukinlajittelulaitoksilla teknisiin ratkaisuihin liittyviä käytännön haasteita ja niiden ratkaisuja. Ongelmia kerättiin sekä normaalista tuotantoajosta että erillisistä testiajoista. Ongelmia pyrittiin mahdollisuuksien mukaan ratkaisemaan ohjelmistoratkaisuilla, mutta osaan ongelmista päädyttiin suosittelemaan mekaanisia korjauksia ja muutoksia sensoreihin tai niiden asennukseen.

Sensoriratkaisuista suositellaan tutkittavaksi mahdollisuutta korvata valokennot videokuvasta tehtävällä hahmontunnistuksella (15). Videokuvaan perustuva tukin seuraaminen voisi parantaa erityisesti kääntäjän toiminnan tarkkailua huomattavasti. Kehitystarpeiltaan kevyempänä mahdollisuutena suositellaan tutkittavaksi valokennon korvaamista tai valokennotiedon vahvistamista laseretäisyysmittarilla, joka sijoitettaisiin linjan yläpuolelle sen keskilinjaan (Kuva 7).

Ongelmia selvittäessä päädyttiin kirjoittamaan Finnos Oy:n PLC:n ohjelmisto käytännössä täysin uusiksi. Uudessa ohjelmistossa pyritään noudattamaan hyviä olio-ohjelmoinnin periaatteita niin pitkälle, kuin kehitysympäristö sen sallii. Tällä uudelleenkirjoittamisella pyritään parantamaan ohjelmiston ylläpidettävyyttä, sen asennuksen helppoutta ja etenkin järjestelmän kykyä kirjoittaa ongelmien selvitystä helpottavaa lokia. Uudelleenkirjoittamisella parannetaan myös PLC ohjelmiston päivitysprosessia, joka nykyisellä ohjelmistolla on erittäin raskas.

Uusia PLC päivityksiä kartoittaessa kannattaa erityisesti huomioida linjan kunto ja määritellä sopimuksen lupaukset PLC toiminnoista sen mukaisesti. Näin vältetään tilanteelta, jossa joudutaan ohjelmistolla korjailemaan ongelmia, jotka olisivat helposti korjattavissa mekaanisesti tai muuten normaalia laitteiston huoltoa toteuttaen. Myös vanhojen valokennojen ja pulssianturien hyödyntämistä kannattaa välttää, koska silloin vastuu niiden ongelmista helposti siirretään uudelle toimittajalle. Viimeiseksi lainataan vanhaa kansanviisautta: mittaa kahdesti ja leikkaa kerran. Anturien ja linjan muiden osien välisiä etäisyyksiä mitatessa tehdyt virheet aiheuttavat suhteettoman paljon työtä koeajovaiheessa.



## LÄHTEET

1. Kortelainen, H., Happonen, A., Kinnunen, S-K. *Fleet Service Generation – Challenges in Corporate Asset Management*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. s.l. : Springer, 2016, ss. 373-380.
2. Kortelainen, H., Happonen, A., Hanski, J. *From asset provider to knowledge company - transformation in the digital era*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019, ss. 333-341.
3. Salmela, E., Happonen, A. *Synchronization of Demand and Supply in a Supply Chain Manufacturing Industrial Products*. Göteborg, Sweden : s.n., 2009. 16th International Annual EurOMA Conference. s. 9.
4. *Laki puutavaran mittauksesta* 14.6.2013/414. Helsinki : s.n., 14. 6 2013.
5. Luonnonvarakeskus. *Puun mittaus*. [Online] [Viitattu: 21. 5 2019.] <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/puun-laatu-kaytto-ja-puutuoteala/puun-mittaus/>.
6. Tulli. *Tavaroiden ulkomaankauppa*. [Online] [Viitattu: 11. 5 2020.] <https://tulli.fi/tilastot/tavaroiden-ulkomaankauppa?tab=2020>.
7. Melkas, T. *Puutavaran mittausmenetelmien osuudet 2017*. s.l. : Metsäteho Oy, 2018. Metsätehon tulosalvosarja 6a/2018.
8. Finnos Oy. *Finnos Oy:n asennetut mittausjärjestelmät*. 2019.
9. IFM. *RO3100 inkrementaalianturin käyttöohje*. 2019.
10. IFM. *OGE700 laserlähetin/vastaanotinparin käyttöohje*. 2018.
11. Beckhoff Oy. *EL5151 Beckhoff product reference*. [Online] [Viitattu: 11. 05 2020.] <https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/el5151.htm>.
12. Metsäkeskus. *Metsäsanasto*. [Online] [Viitattu: 5. 6 2019.] <https://www.metsakeskus.fi/metsasanasto>.
13. Kuvaja, Esa. *Haastattelu*. Lappeenranta, 15. 8 2019.
14. Alatalo, Juha. *Haastattelu*. Lappeenranta, 9. 10 2019.
15. R. C. Luo, C. Liao. *Robotic conveyor tracking with dynamic object fetching for industrial automation*. 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 2017, pp. 369-374.

16. Moynihan, T. *Coping with client-based 'people-problems': The theories-of-action of experienced IS/software project managers*. *Information & Management*. 2002, Osa/vuosik. 39.5, ss. 377-390.